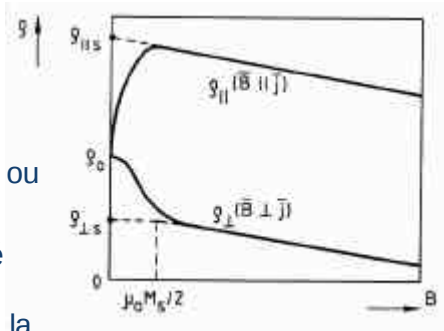


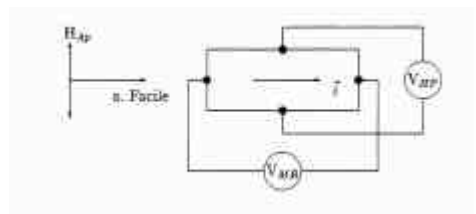
Magnétorésistance anisotrope

- La résistivité d'un métal ferromagnétique dépend de l'orientation relative entre l'aimantation et le courant électrique. Ce phénomène découvert par W. Thomson (1857) est appelé magnétorésistance anisotrope ou anisotropie de résistivité.
- On désigne par $\rho_{//}$ la résistivité lorsque l'aimantation M est parallèle au courant I et par $\rho_{\perp}$ la résistivité lorsque l'aimantation est perpendiculaire au courant.



Magnétorésistance anisotrope

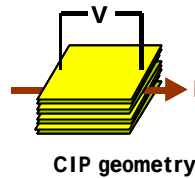
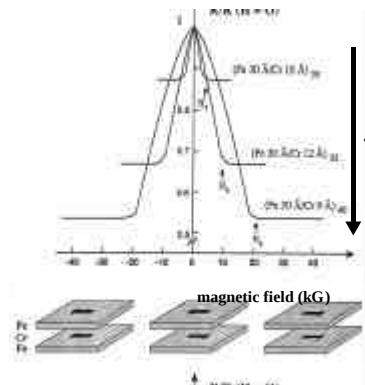
- La magnétorésistance anisotrope est généralement observée en géométrie longitudinale.
- La magnétorésistance anisotrope peut aussi être observée en géométrie transverse. L'effet est alors dénommé effet Hall plan (à ne pas confondre avec l'effet Hall).



$$V_{MR} = R_0 I + \frac{\Delta R I}{2} \cos 2q$$

$$V_{HP} = \frac{\Delta R I}{2} \sin 2q$$

Magnétorésistance géante



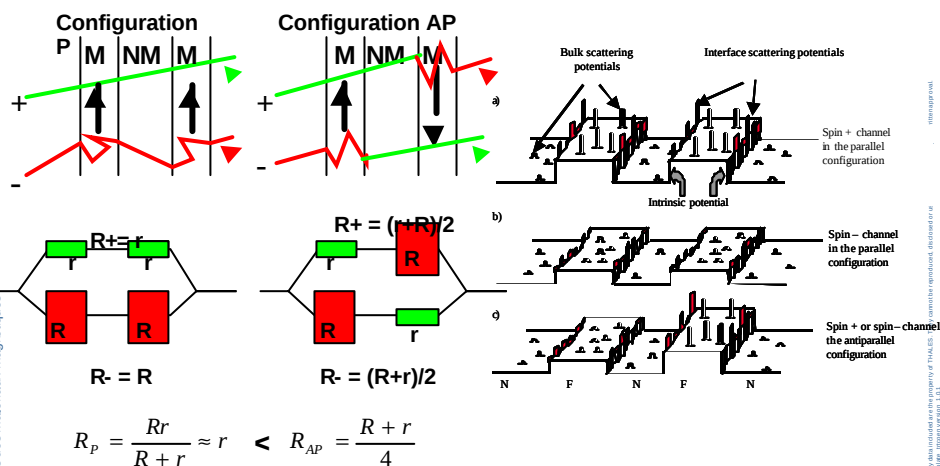
Fe/Cr superlattices

T=4.2K

$$MR = (R_{AP} - R_P) / R_P$$

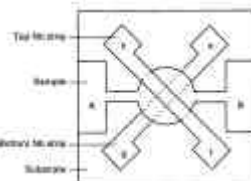
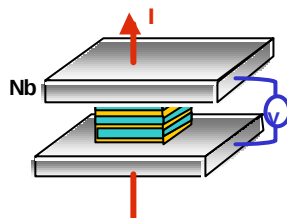
- Orsay : M. Baibich et al., Phys. Rev. Lett., 61, 2472 (1988)
- Jülich : G. Binash et al., Phys. Rev. B, 39, 4828 (1989)

Origines de la magnétorésistance géante

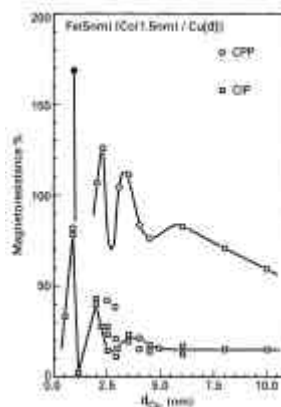


Magnétorésistance géante en géométrie CPP

■ **Schroeder et al; Mat. Res. Soc. Symp.; vol.313, 47 (1993)**



ex: Co/Cu



résistivité $\gg 10^{-8} \Omega \cdot m$
surface $\gg 1 \text{ mm}^2$
tension $\gg 10 \text{ nV}$

⇒ Détection SQUID

✓ CIP : libre parcours moyen

✓ CPP : longueur de diffusion de spin

Applications des matériaux magnétiques



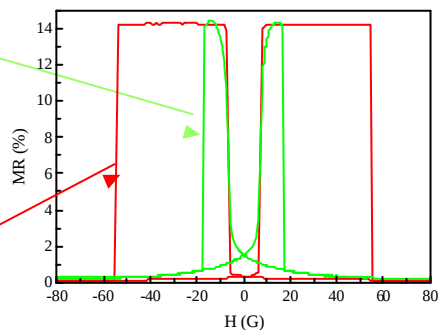
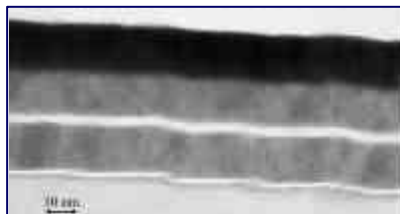
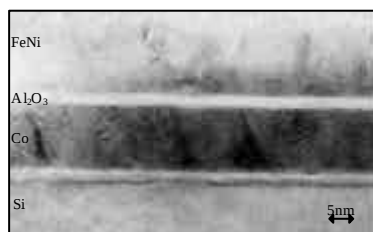
Corporate Department



THALES

This document is the property of Thales. It is not to be distributed or used without Thales' prior written approval.

Magnétorésistance d'une jonction tunnel magnétique



Applications des matériaux magnétiques



Corporate Department

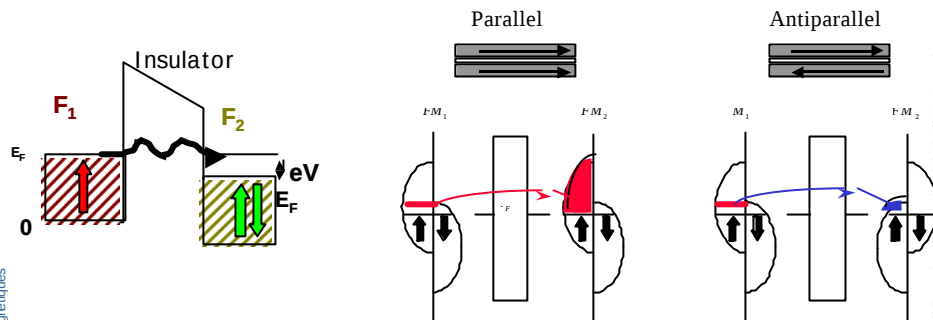


THALES

This document is the property of Thales. It is not to be distributed or used without Thales' prior written approval.

Effet tunnel dépendant du spin

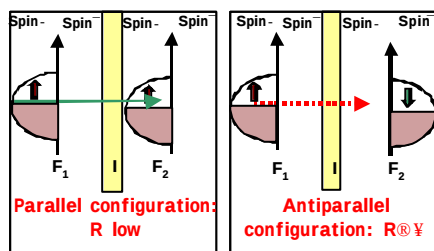
La densité d'états d'un ferromagnétique dépend du spin



L'effet tunnel conserve le spin $I \propto W N_{\text{init.}} N_{\text{fin.}}$

$$S_{++} > S_{--}$$

Origine de l'effet tunnel dépendant du spin



Spin polarisation : $N_{(\uparrow/\downarrow)} = N_0(1 \pm P)$

Parallel configuration

$$\sigma_P \propto 2 N_1 N_2 (1 + P_1 P_2)$$

Anti-parallel configuration

$$\sigma_{AP} \propto 2 N_1 N_2 (1 - P_1 P_2)$$

Tunnel MagnetoResistance (TMR)

$$\Delta\sigma/\sigma = 2 P_1 P_2 / (1 + P_1 P_2)$$

$$\Delta R/R = 2 P_1 P_2 / (1 - P_1 P_2)$$

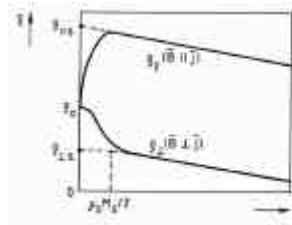
Typical polarisation of a transition metal ferromagnet : 30-40%

$$\Rightarrow \Delta R/R \approx 20-40\%$$

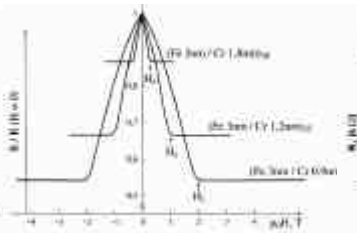
M. Jullière, Phys. Lett., 54 A, 225 (1975)

Différents types d'effets magnétorésistifs

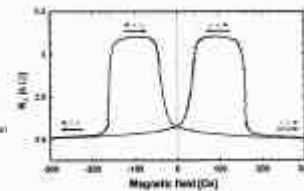
AMR



GMR



TMR



	Resistance (Ω)	DR/R (%)	DR (W)	Output signal
AMR	10	1	0.1	-
GMR	10	10	1	X 10
TMR	1000	10	100	X 1000

Applications des matériaux magnétiques

Corporate Department

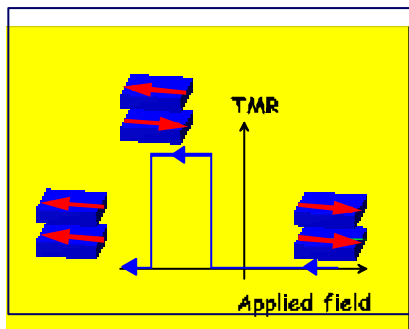
CNRS

UNIVERSITÉ PARIS-SUD 11

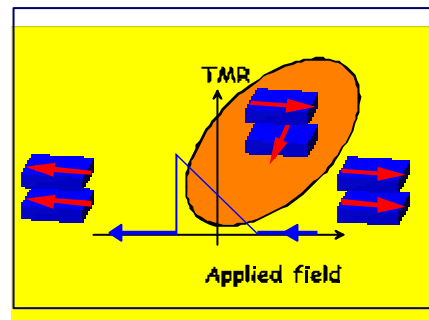
THALES

This document is the property of THALES. It is not to be distributed outside the company. THALES. This document is the property of THALES. It is not to be distributed outside the company.

Configuration des signaux GMR ou TMR



- Configuration alignée
- Signal binaire
- Applications mémoire



- Configuration perpendiculaire
- Signal linéaire et réversible
- Applications capteurs ou têtes

Applications des matériaux magnétiques

Corporate Department

CNRS

UNIVERSITÉ PARIS-SUD 11

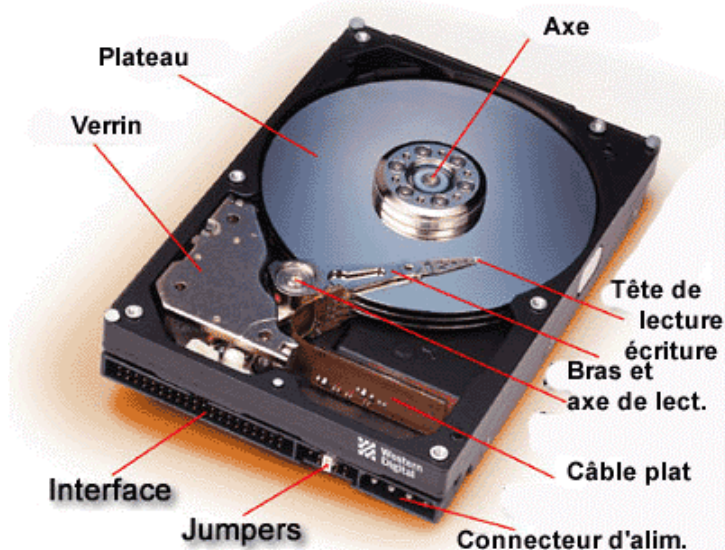
THALES

This document is the property of THALES. It is not to be distributed outside the company. THALES. This document is the property of THALES. It is not to be distributed outside the company.

Types de composants utilisant le transport de spin

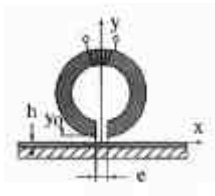
- Têtes de lecture de disques durs
 - Bonne linéarité du signal
 - Très faible hystérésis
 - Sortie numérique
- Capteurs de champ faible (magnétomètre, gradiomètre)
 - Très bonne linéarité (typ. <0.1%)
 - Pas d'hystérésis
 - Sortie analogique
- Mémoire non volatiles MRAMs
 - Signal MR carré
 - Hystérésis raisonnable

Enregistrement magnétique



Enregistrement magnétique inductif

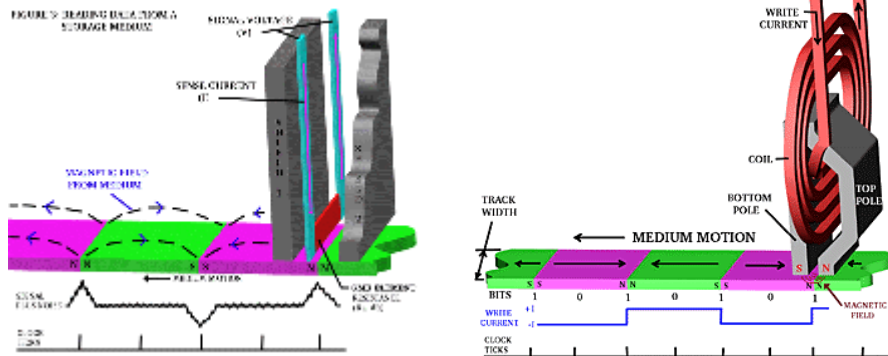
- Le type de tête est le même pour la lecture et l'écriture et est composé d'un circuit magnétique en matériau doux, et d'un enroulement servant pour l'excitation ou la détection.
- En lecture, le champ magnétique dipolaire rayonné par le support (bande, disque) au voisinage de l'entrefer est transmis par le circuit et se traduit par un courant détecté dans l'enroulement (loi de Lenz).
- Pour écrire, on procède à l'expérience inverse.



Divers procédés d'enregistrement

- Enregistrement analogique : le media a une courbe d'aimantation très progressive de telle manière que suivant le champ appliqué, l'aimantation rémanente puisse varier graduellement entre $-M_s$ et $+M_s$.
- Enregistrement numérique : on vise à ne produire sur les média que deux états : $+M_s$ ou $-M_s$. La courbe d'aimantation correspondante est relativement carrée avec un champ coercitif suffisant pour maintenir l'information.
- Enregistrement longitudinal : l'aimantation du media est dans le plan du film. Importante accumulation de pseudo-charges aux parois de domaines, ce qui limite la diminution de leur taille et donc la capacité de stockage.
- Enregistrement perpendiculaire : on utilise par exemple les propriétés d'anisotropie de surface ou d'interface des films minces. Problème : écriture technologiquement difficile.

Disques durs : principe de lecture et d'écriture



Head file Corporation is the world's leading independent manufacturer of reading heads. Head giant assembly and

Head giant assembly for the disk drive industry and also of independent head for special applications like tape drive.



This document is the property of THALES. It is not to be distributed or used without THALES' prior written approval.

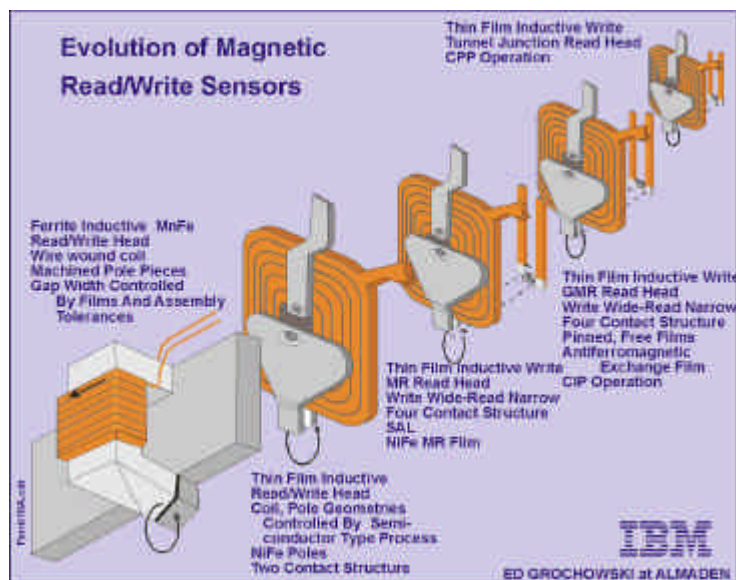
Applications des matériaux magnétiques

Corporate Department



THALES

Evolution des têtes de lecture/écriture



This document is the property of THALES. It is not to be distributed or used without THALES' prior written approval.

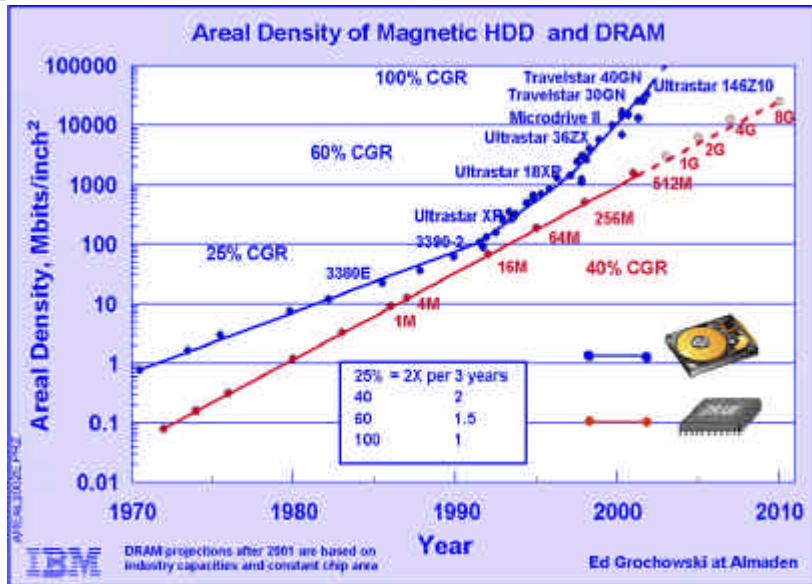
Applications des matériaux magnétiques

Corporate Department



THALES

Evolution des densités d'enregistrement



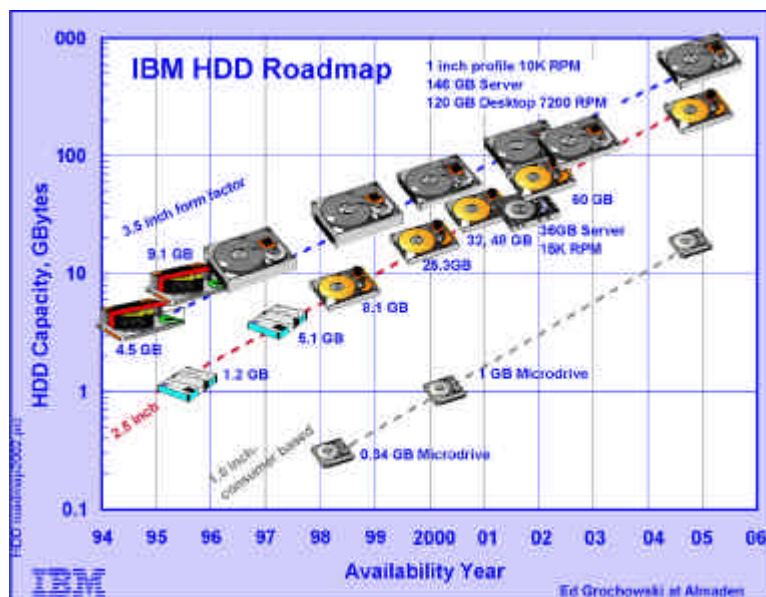
Applications des matériaux magnétiques

17 Corporate Department



THALES

Evolution des capacités de stockage



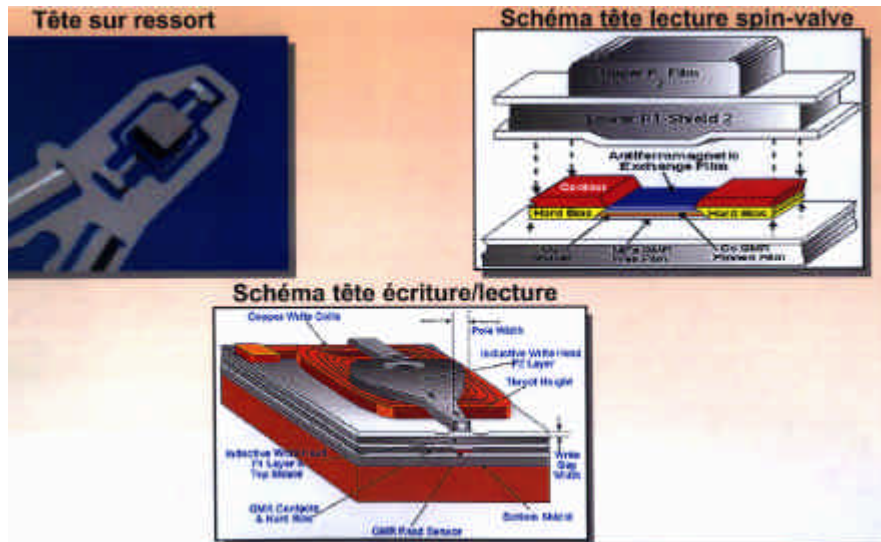
Applications des matériaux magnétiques

18 Corporate Department



THALES

Technologie des têtes de lecture/écriture



Applications des matériaux magnétiques

19

Corporate Department



THALES

This document is a confidential document of THALES. It is not to be distributed or used without THALES prior written approval.

Capteurs magnétorésistifs



Applications des matériaux magnétiques

20

Corporate Department



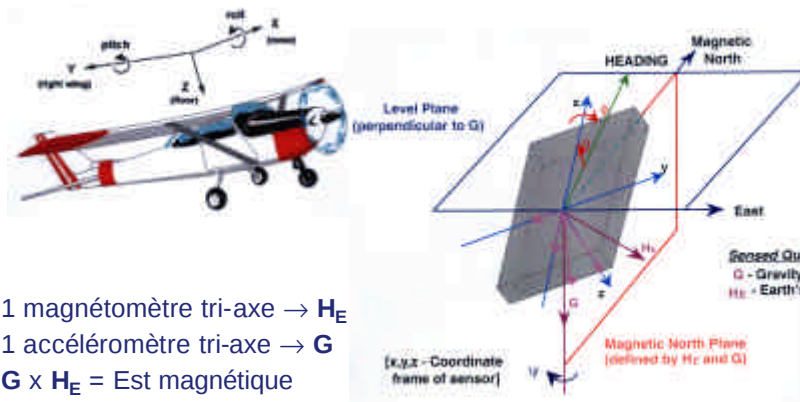
THALES

This document is a confidential document of THALES. It is not to be distributed or used without THALES prior written approval.

Domaines d'applications des capteurs magnétorésistifs

- Navigation
 - Détection du champ magnétique terrestre
 - Détecteur d'attitude
- Mesure du courant électrique
 - Ampèremètres (avec ou sans contact)
- Détection d'un objet via sa signature magnétique
 - Détection de véhicules
 - Contre-mesures maritimes
 - Bio-chips
 - Contrôle non destructif
- Détection du champ magnétique créé par un actionneur
 - Capteur de position
 - Capteur angulaire
 - Équipements automobiles (ABS, potentiomètre sans contact,...)
 - Systèmes de réalité virtuelle

Navigation : utilisation d'un détecteur d'attitude



- 1 magnétomètre tri-axe → H_E
- 1 accéléromètre tri-axe → G
- $G \times H_E = \text{Est magnétique}$

Ref. : www.ssec.honeywell.com

Détection d'un véhicule

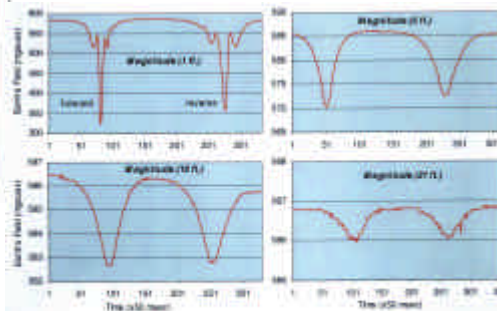
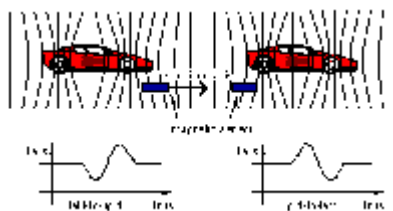
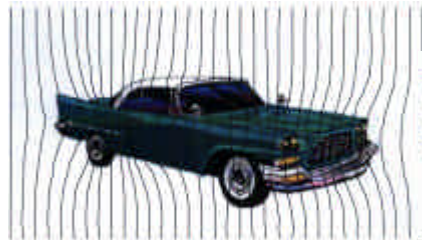


Figure 12-Magnitude of magnetic field variations for a car traveling forward and backward at distances of 1, 3, and 10 feet (crossing north-south) and 21 feet (crossing east-west).

Ref. : www.ssec.honeywell.com

Applications des matériaux magnétiques

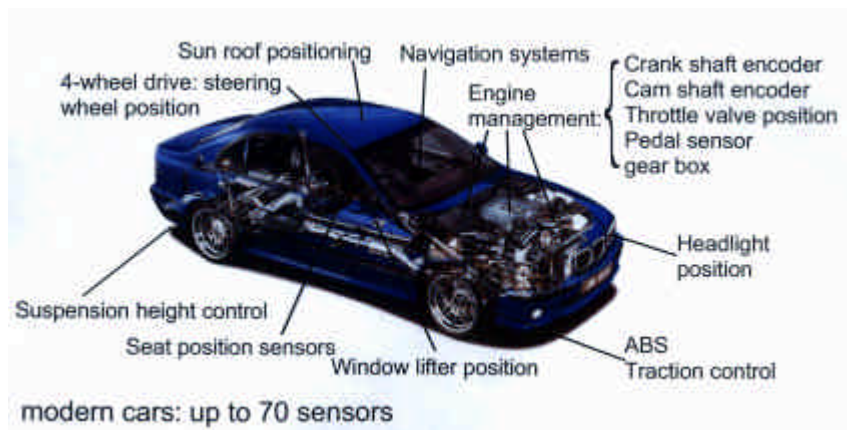
23

Corporate Department



THALES

Capteurs magnétiques utilisés comme équipement automobile



J. Bangert, Ecole thématique POMMES, Aspet Juin 2001

Applications des matériaux magnétiques

24

Corporate Department



THALES